

厚皮甜瓜种质资源果实性状的综合分析及评价

朱彩华¹, 高婷¹, 李梅², 龙荣华¹

(1. 云南省农业科学院园艺作物研究所 昆明 650205; 2. 昆明市东川区经济作物技术推广站 昆明 654100)

摘要:为筛选优质的厚皮甜瓜种质资源,对141份厚皮甜瓜材料的29个果实性状进行了遗传多样性指数分析、变异分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明,29个果实性状包括15个质量性状和14个数量性状,其遗传多样性指数平均值分别为0.90、2.01,14个数量性状的变异系数为21.18%,表明其具有丰富的遗传多样性。各数量性状间存在复杂的相关关系,其中果实横径和种腔横径均与中心可溶性固形物含量呈极显著正相关,单果质量与单株产量、千粒重呈极显著正相关,与中心可溶性固形物含量、种形指数呈显著正相关,表明果实的农艺性状与果实的品质、产量具有关联性。主成分分析结果表明,厚皮甜瓜种质资源果实性状的绝大部分信息包含在前4个主成分因子中,累积贡献率为78.39%;综合评价结果表明,SL 42、SL 29、2020 T 20、SL 90、SL 75的表现最好。聚类分析将141份厚皮甜瓜种质资源划分为7个品种群,分别包含4、2、1、48、7、6、73份种质。综上,参试的厚皮甜瓜种质资源果实遗传多样性丰富,各类群特征和优点突出,对品种改良和大面积推广种植具有指导意义。

关键词:厚皮甜瓜;种质资源;性状;多样性;评价

中图分类号:S652

文献标识码:A

文章编号:1673-2871(2023)10-032-10

Principal component analysis and comprehensive evaluation of fruit traits of muskmelon germplasm resources

ZHU Caihua¹, GAO Ting¹, LI Mei², LONG Ronghua¹

(1. Horticultural Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, Yunnan, China; 2. Dongchuan Cash Crop Technology Promotion Station, Kunming 654100, Yunnan, China)

Abstract: In order to screen high-quality muskmelon germplasm resources, genetic diversity index analysis, variation analysis, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis were performed for 29 characters of 141 muskmelon germplasm resources. The results showed that the average genetic diversity index of 15 quality traits and 14 quantitative traits were 0.90 and 2.01, respectively, and the coefficient of variation of 14 quantitative traits was 21.18%, indicating that it had more abundant genetic diversity. There is a complex interrelationship between various quantitative traits, with both fruit diameter and seed cavity diameter showing a highly significant positive correlation with the central soluble solid content, single fruit weight showing a highly significant positive correlation with single plant yield and thousand grain weight, and a significant positive correlation with the central soluble solid content and seed shape index, indicating a correlation between fruit traits and fruit quality and yield. The principal component analysis showed that the vast majority of information on fruit traits of muskmelon germplasm resources is contained in the first four principal component factors, with a cumulative contribution rate of 78.39%. The comprehensive evaluation results showed that SL 42, SL 29, 2020 T 20, SL 90, and SL 75 performed the best. The cluster analysis results showed that 141 muskmelon germplasm resources can be divided into 7 variety groups, including 4, 2, 1, 48, 7, 6, and 73 germplasm. In summary, the tested muskmelon germplasm resources have rich genetic diversity in fruits, prominent characteristics and advantages of various groups, and have guiding significance for breeding improvement and large-scale promotion of planting.

Key words: Muskmelon; Germplasm resources; Character; Diversity; Evaluation

收稿日期:2023-04-12;修回日期:2023-07-05

基金项目:云南省乡村振兴专项(No. 202004BI090071);云南省重大科技专项(No. 202102AE090005)

作者简介:朱彩华,男,硕士,主要从事瓜类蔬菜产业的栽培、品种选育工作。E-mail:1139801711@qq.com

通信作者:龙荣华,男,研究员,主要从事瓜类栽培、遗传育种及云南特色蔬菜传统种植模式与现代科学技术的融合技术等研究。

E-mail:longronghua134@sohu.com

厚皮甜瓜(*Cucumis melo*)为葫芦科一年生蔓性草本植物,果实味甜多汁,香气浓郁,富含维生素、有机酸及矿物质等营养成分,深受广大消费者喜爱,是我国重要的园艺经济作物之一^[1]。由于厚皮甜瓜在我国栽培历史悠久,多年的选育和栽培中已形成在果皮底色、果皮覆纹、果肉颜色等方面具有多样性的特色品种。随着人们生活水平的提高,对甜瓜的品质和多样性要求也越来越高^[2],因此开展种质资源评价,通过分析厚皮甜瓜种质间的重要农艺性状差异性,筛选出优质的种质资源,对厚皮甜瓜新品种选育和产业发展具有重要的推动作用。前人对甜瓜的研究主要集中在种质资源生物多样性和遗传多样性方面^[3]。许多学者利用形态学分类法、AFLP、SRAP、SSR 标记对甜瓜种质资源进行鉴定,分析不同品种之间的遗传亲缘关系^[4-6],但对其表型性状的多样性研究较少。胡建斌等^[7]对 250 份国外甜瓜种质资源的 19 个形态性状的遗传多样性进行研究。张凯歌等^[8]利用形态学标记和分子标记技术,将 219 份甜瓜种质资源划分为厚皮、薄皮和野生 3 种类型。朱凌丽等^[9]采用群体结构与聚类分析,将 124 份厚皮甜瓜种质划分为 5 个具有独立性、多样性、差异明显的类群。在实践中,农艺性状也是选育新品种的重要评价指标,通过田间种植观察,对甜瓜种质的各个性状进行测定,采用聚类分析等方法可以筛选出性状优良和营养丰富的种质^[7]。盛云燕等^[10]以新疆引进的 8 个甜瓜品种为材料,对果实的多个性状进行差异分析,筛选出了适宜北方种植的 2 个高品质品种 M4-10 和 M4-5。梁昕景等^[11]采用隶属函数法对 34 份厚皮甜瓜进行综合评价,火凤凰 6 号总隶属函数值最大,排名第 1,其次是 k2-1、k2-4、君网蜜 3 号、k2-3,可以引进海南地区种植。韩立红等^[12]利用方差分析和隶属函数法对 34 个黄皮型厚皮甜瓜品种的产量及品质等性状进行综合评价,选育出了适宜在日光温室中与草莓套种的雅州蜜厚皮甜瓜品种。徐佳等^[13]对 9 个厚皮甜瓜品种的生育期、植株性状、果实性状、产量及抗病性等指标进行综合分析,筛选出适宜在台州地区推广种植的脆肉型厚皮甜瓜浙甜 105。综上所述,前人研究多集中于我国部分地区的种质,对筛选区域适应性极强的跨地域优质厚皮甜瓜种质资源研究较少。笔者以 141 份厚皮甜瓜种质资源为试材,通过室外小区地块种植,对

29 个农艺性状进行测定,旨在分析不同种质间果实性状的差异性,筛选优质的厚皮甜瓜种质资源,为育种提供优质的亲本材料,进而为新品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

141 份厚皮甜瓜种质资源由湖南省瓜类研究所收集,保存,均为纯种自交系,包括网纹、光皮、大果、小果等类型(表 1)。

1.2 代表性种质资源图片

在以下 9 份典型的种质资源中,果形有圆形、卵形、椭圆形,果皮底色有黄色、白色、灰色,果面网纹为全网纹、部分网纹和无网纹,果面有棱沟,果肉颜色有橙色、白色和绿色。

1.3 试验仪器

直尺,游标卡尺,电子秤(ACS-30 kg),电子天平(YP 5102),TD 系列糖度计。

1.4 试验设计

试验于 2021 年 5—9 月在云南省保山市隆阳区农业示范试验田进行,采用 2.5 m 包沟起垄种植,垄宽 0.9 m,沟宽 0.3 m,垄间距为 1.3 m。试验材料共 141 份,采用随机区组排列,小区面积为 6 m×2.5 m=15 m²。每小区种植 10 株,每份种质 3 次重复,共种植 30 株。5 月初使用 32 孔穴盘育苗,2 叶 1 心期移栽至试验田,采用一垄单行种植模式,株行距为 0.5 m×2.5 m。在整个生育期内统一进行栽培管理和病虫害防治,植株 4 叶 1 心至 5 叶 1 心时摘心,采取双蔓整枝,均为自花授粉,并及时剪除多余侧枝,开花、坐果后均不再疏果,使其自然生长。

1.5 指标测定

参照《甜瓜种质资源描述规范与数据标准》^[14]、《农作物优异种质资源评价规范-甜瓜》(NY/T 2388-2013)^[15],每份种质随机选取 5 株,对 15 个质量性状进行调查、分级和赋值,对 14 个数量性状进行测定。

1.5.1 数据的标准化采集 每份种质选取 5 个果皮色泽鲜艳、果脐发软、脐部散发香味的果实进行测定,将甜瓜果实沿中轴一切为二,尽量保持切面平整,用直尺进行果实横径和纵径的测定;果形指数=果实纵径/果实横径;用游标卡尺测量种腔横径和果肉厚度。每份种质取 3 个重复内总产量和总坐果数比值的平均值即为平均单果质量;对每个品种的株数和果数进行计数,单株坐果数=总结果数/

表1 试验材料
Table 1 Experimental materials

序号	编号	果实特征	序号	编号	果实特征	序号	编号	果实特征
1	SL 1	光皮、大果	48	SL 85	光皮、中果	95	SL 288	网纹、中果
2	SL 2	网纹、中果	49	SL 86	光皮、中果	96	SL 289	光皮、大果
3	SL 3	网纹、中果	50	SL 87	光皮、中果	97	SL 294	光皮、中果
4	SL 4	网纹、大果	51	SL 88	光皮、大果	98	SL 296	光皮、小果
5	SL 7	光皮、小果	52	SL 89	网纹、大果	99	SL 297	光皮、中果
6	SL 9	网纹、中果	53	SL 90	网纹、大果	100	SL 298	网纹、中果
7	SL 10	网纹、小果	54	SL 92	光皮、中果	101	2020 T 03	网纹、中果
8	SL 20	光皮、中果	55	SL 93	光皮、中果	102	2020 T 04	网纹、中果
9	SL 21	网纹、中果	56	SL 94	网纹、中果	103	2020 T 06	网纹、大果
10	SL 23	网纹、小果	57	SL 95	网纹、中果	104	2020 T 07	网纹、大果
11	SL 25	光皮、大果	58	SL 96	网纹、中果	105	2020 T 08	网纹、中果
12	SL 26	光皮、中果	59	SL 97	网纹、小果	106	2020 T 09	网纹、中果
13	SL 27	网纹、中果	60	SL 98	光皮、中果	107	2020 T 10	网纹、中果
14	SL 28	网纹、中果	61	SL 99	网纹、中果	108	2020 T 11	网纹、中果
15	SL 29	网纹、大果	62	SL 100	光皮、小果	109	2020 T 13	网纹、小果
16	SL 30	光皮、中果	63	SL 101	光皮、大果	110	2020 T 15	网纹、中果
17	SL 31	网纹、中果	64	SL 102	光皮、中果	111	2020 T 16	网纹、中果
18	SL 32	光皮、中果	65	SL 103	光皮、小果	112	2020 T 17	网纹、小果
19	SL 37	光皮、大果	66	SL 104	网纹、小果	113	2020 T 18	网纹、小果
20	SL 41	光皮、中果	67	SL 105	网纹、小果	114	2020 T 19	光皮、大果
21	SL 42	网纹、大果	68	SL 106	光皮、中果	115	2020 T 20	光皮、大果
22	SL 43	光皮、中果	69	SL 150	光皮、小果	116	2020 T 21	光皮、中果
23	SL 44	光皮、大果	70	SL 152	光皮、中果	117	2020 T 22	光皮、中果
24	SL 45	光皮、小果	71	SL 165	网纹、小果	118	2020 T 25	网纹、中果
25	SL 46	光皮、大果	72	SL 173	光皮、小果	119	2020 T 28	光皮、中果
26	SL 47	光皮、大果	73	SL 177	光皮、大果	120	2020 T 29	网纹、中果
27	SL 48	光皮、中果	74	SL 181	网纹、中果	121	2020 T 30	网纹、中果
28	SL 49	光皮、中果	75	SL 184	网纹、中果	122	2020 T 32	网纹、小果
29	SL 50	网纹、小果	76	SL 187	网纹、小果	123	2020 T 33	网纹、中果
30	SL 51	光皮、中果	77	SL 188	网纹、中果	124	2020 T 34	网纹、中果
31	SL 52	光皮、中果	78	SL 189	网纹、中果	125	2020 T 35	网纹、中果
32	SL 53	光皮、大果	79	SL 203	光皮、小果	126	2020 T 36	网纹、小果
33	SL 54	光皮、大果	80	SL 207	光皮、中果	127	2020 T 38	网纹、中果
34	SL 55	网纹、大果	81	SL 208	光皮、中果	128	2020 T 39	光皮、大果
35	SL 56	网纹、大果	82	SL 209	网纹、中果	129	2020 T 40	光皮、中果
36	SL 57	网纹、大果	83	SL 211	网纹、中果	130	2020 T 43	光皮、大果
37	SL 73	光皮、中果	84	SL 212	网纹、大果	131	2020 T 44	网纹、大果
38	SL 74	光皮、中果	85	SL 215	光皮、中果	132	2020 T 47	网纹、大果
39	SL 75	光皮、大果	86	SL 216	网纹、中果	133	2020 T 48	网纹、中果
40	SL 77	网纹、中果	87	SL 222	光皮、中果	134	2020 T 49	网纹、中果
41	SL 78	网纹、中果	88	SL 223	网纹、中果	135	2020 T 50	网纹、大果
42	SL 79	光皮、大果	89	SL 240	网纹、大果	136	2020 T 51	网纹、大果
43	SL 80	网纹、大果	90	SL 259	网纹、中果	137	2020 T 52	网纹、中果
44	SL 81	光皮、大果	91	SL 260	网纹、中果	138	2020 T 53	网纹、中果
45	SL 82	网纹、大果	92	SL 276	网纹、大果	139	2020 T 54	网纹、中果
46	SL 83	光皮、大果	93	SL 278	光皮、中果	140	2020 T 55	网纹、中果
47	SL 84	网纹、中果	94	SL 286	网纹、中果	141	2020 T 56	网纹、中果

注:单果质量> 2.5 kg 为大果,单果质量在 1.5~2.5 kg 为中果,单果质量<1.5 kg 为小果。



图1 代表性厚皮甜瓜资源

Fig. 1 Representative thick skin melon resources

株数;单株产量/(kg·株⁻¹)=小区总产量/小区总株数。取果实中间部位的果肉,用糖度计测定中心可溶性固形物含量。每份种质选取成熟度较好的5个瓜,将种子晾干后称千粒重,3次重复,取平均值;用游标卡尺对每个品种具有代表性的3个果实的种子长度、种子宽度进行测定,每个果实测量均一性较好的10粒种子,重复3次;种形指数=种子长度/种子宽度。果实成熟后,以咀嚼方式对每份种质的果实质地进行测定。果实采收后,采用纱布包裹瓜瓤,并用钳子挤压对瓜瓤

水分进行测定,能轻易挤压出许多水分的为多,能挤压出少许水分的为中,很难挤压出水分的为少。

1.5.2 数据处理与分析 质量性状分为1~10级(表2),并计算每级频率;数量性状根据均值(X)和标准差(s)将所有数据分为10级,1级 $<(X-2s)$,10级 $>(X+2s)$,中间每0.5 X 为1个等级,统计分布频率。各性状遗传多样性采用 Shannon's 信息指数(H')分析。 $H' = -\sum P_i \ln P_i$ 。

式中: P_i 为第*i*种变异类型出现的频率,ln为自

表2 厚皮甜瓜种质资源质量性状描述分级

Table 2 Description and classification of quality traits of thick skin melon germplasm resources

性状	分级									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
果面瘤	无	有								
果实形状	圆形	梨形	卵圆	倒卵	椭圆	圆柱				
果皮底色	白色	乳白	绿白	浅黄	黄色	深黄	橘	浅绿	黄绿	绿色
果面沟	无	浅	深							
覆纹形状	无	斑点	斑块	斑条						
覆纹颜色	无	浅绿	深绿	浅黄	深黄					
果皮网纹	有	无								
网纹密度	无	稀	中	密						
网纹分布	无	少	半	全						
果肉颜色	白色	黄色	浅绿	黄绿	绿色	橙色	橙红			
果肉质地	软	面	脆	绵						
瓜瓤颜色	白色	绿色	黄色	橙色						
瓜瓤水分	少	中	多							
种子形状	椭圆	卵圆	梨形							
种皮颜色	白色	黄白	黄色							

然对数。

利用 Excel 2019 计算各质量性状的分布频率、变异系数(CV)及各数量性状的最小值、最大值、平均值、标准差、变异系数;采用 SPSS 22.0 对其进行相关性分析、主成分分析;利用 Origin 2022 进行聚类分析,最终生成聚类图。

2 结果与分析

2.1 质量性状遗传多样性分析

对 15 个质量性状进行分级和赋值,频率和遗传多样性指数如表 3 所示。遗传多样性指数的变化范围介于 0.27~2.04 之间,其中,果面瘤最低

(0.27),果皮底色最高(2.04),果实形状、果皮底色、果面网纹分布、果肉颜色和种子形状等 5 个性状均大于 1.0,其余 10 个性状均小于 1.0,说明所有种质在这 5 个质量性状中变异较大。92.20%的甜瓜种质无果面瘤;黄色和黄绿色的果皮底色居多,占有所有种质的 46.10%;78.72%的种质果面光滑,无棱沟;93.62%的种质没有覆纹;57.45%的种质为网纹甜瓜品种,43.97%的种质网纹较密,47.52%的种质网纹覆盖全部果面。果肉颜色以白色(28.37%)、浅绿(27.66%)和橙色(28.37%)为主,种质的果肉质地为脆(69.50%),56.03%的种质水分较少,35.46%的种质水分中等,8.51%的种质果实多汁。种质籽粒形

表 3 厚皮甜瓜种质资源质量性状频率分布及多样性

Table 3 Frequency distribution and diversity of quantitative traits of thick skin melon germplasm resources %

性状	分级										遗传多样性指数	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
果面瘤	92.20	7.80										0.27
果实形状	46.81	6.38	17.02	6.38	21.99	1.42						1.40
果皮底色	12.06	3.54	2.13	8.51	24.82	3.55	4.96	5.67	21.28	13.48		2.04
果面沟	78.72	7.80	13.48									0.66
覆纹形状	93.62	2.13	2.13	2.13								0.31
覆纹颜色	93.62	0.71	2.84	0.71	1.42	0.71						0.33
果皮网纹	57.45	42.55										0.68
网纹密度	42.55	9.93	3.55	43.97								0.84
网纹分布	42.55	5.67	4.26	47.52								1.01
果肉颜色	28.37	1.42	27.66	2.13	2.13	28.37	9.93					1.52
果肉质地	27.66	1.42	69.50	1.42								0.73
瓜瓤颜色	51.06	1.42	6.38	41.13								0.95
瓜瓤水分	56.03	35.46	8.51									0.90
种子形状	43.97	39.72	16.31									1.02
种皮颜色	18.44	12.06	69.50									0.82

状以椭圆(43.97%)和卵圆(39.72%)为主,种皮颜色以黄色(69.50%)为主。

2.2 果实主要数量性状的差异性分析

从表 4 可以看出,厚皮甜瓜的 14 个果实数量性状之间存在着丰富的变异,变异系数介于 9.75%~47.41%之间,遗传多样性指数介于 1.76~2.07 之间。其中,单株产量变异系数最大,为 47.41%,其次是单株坐果数、平均单果质量、千粒重、果实纵径,变异系数均达到了 20%以上,表明这几个性状变异性差异较大,遗传性状不稳定,需根据不同育种目标加大品种改良力度。果实横径、果形指数、种腔横径,空腔率、果肉厚度、中心可溶性固形物含量变异系数低于 20%,其中种形指数的变异系数最小,表明该性状遗传较稳定。果形指数、空腔率、单株

坐果数、单株产量的遗传多样性指数均小于 2.0,其余 10 个性状均大于 2.0,遗传多样性丰富,今后可对这 10 个性状加以改良。

2.3 甜瓜果实性状的相关性分析

对 141 份厚皮甜瓜种质资源的其中 12 个数量性状进行相关性分析,呈极显著相关的有 29 对,呈显著相关的有 9 对(表 5)。果实横径与果实纵径、种腔横径、空腔率、果肉厚度、单果质量、单株产量、中心可溶性固形物含量、千粒重呈极显著正相关,与种形指数呈显著正相关,与单株坐果数呈显著负相关;果实纵径与果形指数、种腔横径、果肉厚度、单果质量、单株产量、千粒重呈极显著正相关,与单株坐果数呈极显著负相关;果形指数与单果质量呈极显著正相关;种腔横径与空腔率、单果质量、单株

表4 厚皮甜瓜种质资源的果实性状变异分析

Table 4 Variation analysis of fruit traits of thick skin melon germplasm resources

性状	均值	最大值	最小值	极差	标准差	变异系数/%	遗传多样性指数
果实横径/cm	14.45	20.88	8.94	11.94	1.86	12.87	2.07
果实纵径/cm	15.96	26.02	10.12	9.90	3.23	20.24	2.02
果形指数	1.11	1.74	0.77	0.97	0.19	17.12	1.99
种腔横径/cm	6.63	10.64	3.96	6.68	1.32	19.91	2.03
空腔率/%	45.74	60.46	33.46	27.00	5.50	12.02	1.76
果肉厚度/cm	3.99	5.72	2.60	3.12	0.57	14.23	2.04
平均单果质量/kg	1.71	3.68	0.59	3.09	0.64	37.43	2.02
单株坐果数	2.24	5.00	0.70	4.30	0.94	41.96	1.96
单株产量/kg	3.67	10.00	0.41	9.59	1.74	47.41	1.99
中心可溶性固形物含量/%	13.82	18.70	8.30	10.40	2.05	14.83	2.04
千粒重/g	31.05	55.13	12.67	42.46	7.93	25.54	2.04
种子长度/mm	10.94	15.52	7.80	7.72	1.43	13.07	2.07
种子宽度/mm	4.63	5.90	3.36	2.54	0.47	10.15	2.04
种形指数	2.36	3.21	1.79	1.42	0.23	9.75	2.03

表5 厚皮甜瓜果实性状的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of fruit traits of thick skin melon

性状	果实横径	果实纵径	果形指数	种腔横径	空腔率	果肉厚度	单果质量	单株坐果数	单株产量	中心可溶性固形物含量	千粒重	种形指数
果实横径	1											
果实纵径	0.54**	1										
果形指数	-0.13	0.75**	1									
种腔横径	0.79**	0.41**	-0.12	1								
空腔率	0.23**	0.09	0.05	0.77**	1							
果肉厚度	0.70**	0.40**	0.07	0.15	-0.47**	1						
单果质量	0.88**	0.76**	0.22**	0.65**	0.13	0.68**	1					
单株坐果数	-0.19*	-0.19**	-0.09	-0.21*	-0.11	-0.07	-0.21*	1				
单株产量	0.51**	0.45**	0.13	0.26**	-0.09	0.54**	0.55**	0.61**	1			
中心可溶性固形物含量	0.27**	0.05	-0.18	0.26**	0.15	0.10	0.19*	-0.11	0.05	1		
千粒重	0.30**	0.34**	0.16	0.42**	0.37**	0.04	0.33**	-0.15	0.09	-0.03	1	
种形指数	0.18*	0.14	0.05	0.24**	0.20*	0.07	0.18*	-0.17*	0.06	0.13	0.17*	1

注:**表示在0.01水平上极显著相关;*表示在0.05水平上显著相关。

表6 评价因子的特征值和累计方差贡献率

Table 6 The eigenvalue and cumulative variance contribution rate of evaluation factors

成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	4.18	34.83	34.83
2	2.17	18.04	52.87
3	1.69	14.05	66.93
4	1.38	11.46	78.39
5	0.93	7.73	86.13
6	0.86	7.16	93.28
7	0.61	5.12	98.40
8	0.08	0.64	99.04
9	0.05	0.45	99.49
10	0.05	0.41	99.90
11	0.01	0.09	99.99
12	0.00	0.01	100.00

产量、中心可溶性固形物含量、千粒重、种形指数呈极显著正相关,与单株坐果数呈显著负相关;空腔率与千粒重呈极显著正相关,与种形指数呈显著正相关,与果肉厚度呈极显著负相关;果肉厚度与单果质量、单株产量呈极显著正相关;单果质量与单株产量、千粒重呈极显著正相关,与中心可溶性固形物含量、种形指数呈显著正相关,与单株坐果数呈显著负相关;单株坐果数与单株产量呈极显著正相关,与种形指数呈显著负相关;千粒重与种形指数呈显著正相关。

2.4 甜瓜果实性状的主成分分析

2.4.1 主成分提取与分析 对141份厚皮甜瓜的12个重要的数量性状进行主成分分析(表6和表

表7 主成分荷载矩阵

Table 7 Principal component load matrix

指标	主成分			
	1	2	3	4
平均单果质量(X1)	0.46	-0.10	0.01	-0.10
果实横径(X2)	0.45	-0.01	-0.24	-0.10
种腔横径(X3)	0.38	0.35	-0.16	0.15
果实纵径(X4)	0.38	-0.12	0.43	0.00
果肉厚度(X5)	0.30	-0.40	-0.20	-0.32
单株产量(X6)	0.28	-0.39	-0.14	0.43
千粒重(X7)	0.23	0.24	0.21	0.18
种形指数(X8)	0.14	0.18	0.03	-0.09
空腔率(X9)	0.14	0.56	-0.01	0.36
果形指数(X10)	0.10	-0.13	0.70	0.07
中心可溶性固形物含量(X11)	0.12	0.14	-0.31	-0.18
单株坐果数(X12)	-0.09	-0.32	-0.20	0.68

7),提取出特征值大于1的4个主成分,累积方差贡献率为78.39%。第一主成分的方差贡献率为34.83%,平均单果质量、果实横径的荷载值较大,主要反映了甜瓜的大小,可称为质量因子;第2主成分在空腔率和种腔横径上有着较大的荷载值,方差贡献率为18.04%,可称为种腔因子;第3主成分主要在果形指数上有着较大的荷载值,方差贡献率为14.05%,可称为果形因子;第4主成分单株产量和单株坐果数上有着较大的荷载值,方差贡献率为11.46%,可称为产量因子。

2.4.2 不同厚皮甜瓜种质综合评价 对原始数据进行标准化处理,根据标准化后的各性状指标及因子荷载矩阵计算各主成分得分,公式为:

$$F1=0.46X1+0.45X2+0.38X3+0.38X4+0.30X5+0.28X6+0.23X7+0.14X8+0.14X9+0.10X10+0.12X11-0.09X12;$$

$$F2=-0.10X1-0.01X2+0.35X3-0.12X4-0.40X5-0.39X6+0.24X7+0.18X8+0.56X9-0.13X10+0.14X11-0.32X12;$$

$$F3=0.01X1-0.24X2-0.16X3+0.43X4-0.20X5-0.14X6+0.21X7+0.03X8-0.01X9+0.70X10-0.31X11-0.20X12;$$

$$F4=-0.10X1-0.10X2+0.15X3+0.00X4-0.32X5+0.43X6+0.18X7-0.09X8+0.36X9+0.07X10-0.18X11+0.68X12。$$

根据各主成分的权重值计算综合得分。

$$F综=0.35XF1+0.18XF2+0.14XF3+0.11XF4。$$

根据综合评价得分排序(表8),得分越高表明该种质综合品质越好。排名前5的种质分别是SL

表8 厚皮甜瓜种质资源的主成分得分(前20)

Table 8 Principal component score of thick skin melon germplasm resources(Top 20)

品种	1	2	3	4	综合得分排序	
SL 42	4.91	-0.34	2.47	0.32	2.03	1
SL 29	4.44	0.58	2.36	-0.86	1.89	2
2020 T 20	3.29	2.54	-0.48	1.19	1.67	3
SL 90	2.81	1.51	0.47	0.85	1.41	4
SL 75	2.69	1.69	0.38	0.89	1.40	5
2020 T 28	1.70	3.89	0.24	0.49	1.38	6
SL 83	2.62	1.08	-0.04	2.36	1.37	7
SL 46	3.75	-1.17	1.27	-0.36	1.24	8
2020 T 43	3.03	1.99	-0.76	-0.62	1.24	9
SL 212	2.39	2.35	-0.22	0.05	1.23	10
SL 81	4.46	0.65	-2.78	-1.07	1.16	11
SL 47	3.02	0.08	0.57	0.07	1.15	12
2020 T 06	3.33	-0.52	1.05	-0.87	1.12	13
SL 26	1.69	2.21	-0.40	1.53	1.11	14
SL 240	2.12	1.41	-0.90	1.14	1.00	15
SL 25	2.92	-1.81	1.12	1.13	0.98	16
SL 54	1.80	0.22	1.06	0.78	0.90	17
SL 56	3.48	-1.18	-0.24	-0.62	0.90	18
SL 53	2.64	1.04	-1.76	0.12	0.87	19
SL 276	1.54	0.25	2.67	-0.83	0.86	20

42、SL 29、2020 T 20、SL 90、SL 75,表明此5份种质的综合表现较好。得分最低的分别是SL 173、SL 10、2020 T 17、2020 T 29、2020 T 18,综合表现与其他种质相比较差。

2.5 聚类分析

对141份厚皮甜瓜种质的29个性状进行数据分析,构建聚类分析图。在欧氏距离14.5处,可将141份种质分成7大类群(I、II、III、IV、V、VI、VII)。不同颜色表示不同的类群(图1)。

第I类群为2020 T 28、SL 73、SL 49、SL 203,占比2.84%。这一类群果肉平均厚度3.31 cm,平均单果质量1.44 kg,中心可溶性固形物含量14.93%,千粒重49.94 g,产籽量最高;果形长椭圆形,果皮黄色、无网纹,果肉质地软、绵,果肉白色。

第II类群为SL 42和SL 29,占比1.42%,2份种质果肉平均厚度4.59 cm,平均单果质量3.44 kg,中心可溶性固形物含量12.65%,种子千粒重45.84 g,产籽量较高;均为椭圆、大果型,果皮黄色,有斑点和网纹,汁少,果肉橙色。

第III类群只有1份种质SL 27,占比0.71%,果肉厚度3.90 cm,平均单果质量1.89 kg,中心可溶性固形物含量13.50%,种子千粒重13.20 g,产籽

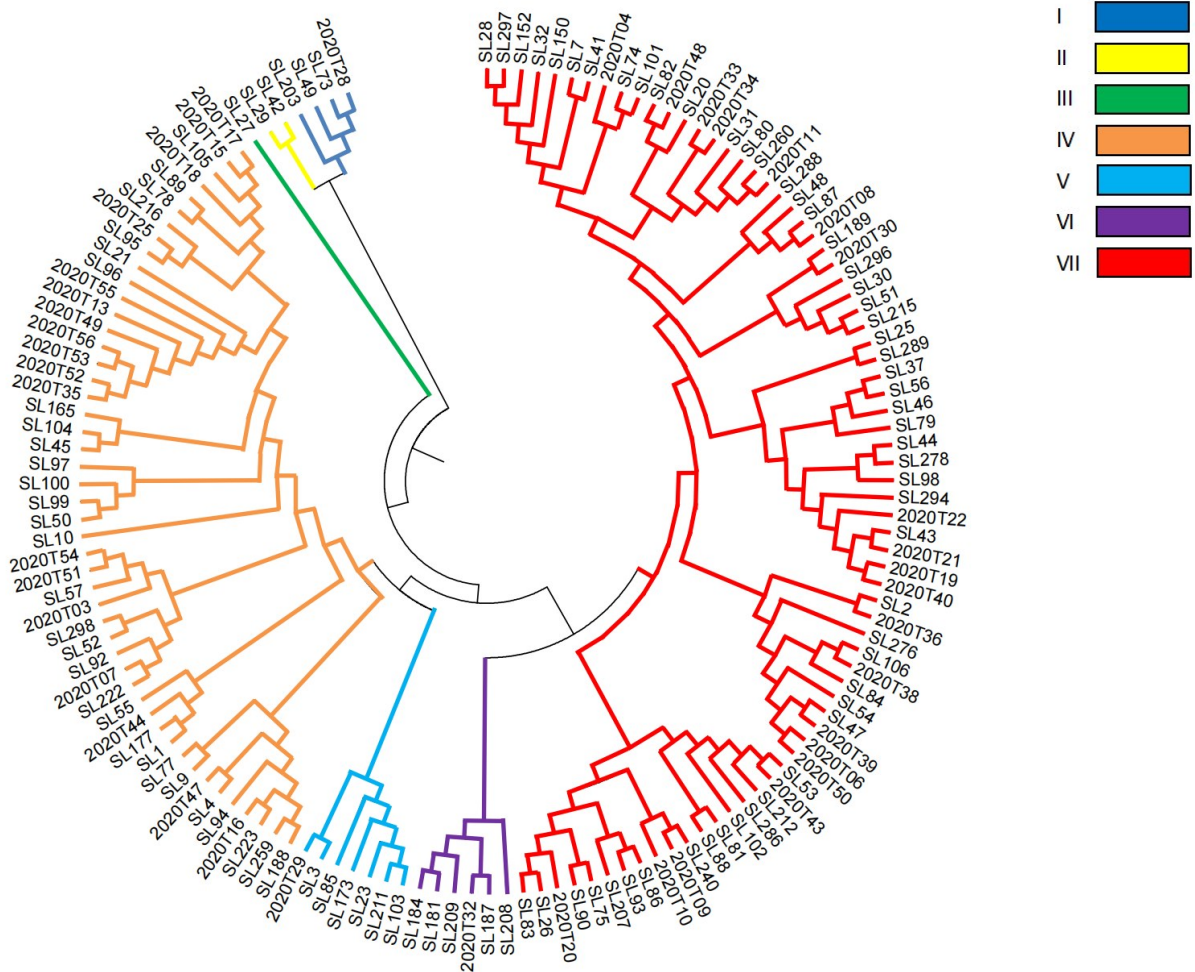


图2 基于形态性状的聚类图
Fig. 2 Cluster based on morphological traits

量最低;种子较小,无斑纹,有网纹,果皮土黄色,果肉汁多较软。

第IV类群包含种质48份,占比34.04%,此类群果肉平均厚度4.00 cm,平均单果质量1.50 kg,中心可溶性固形物含量13.70%,千粒重25.53 g;果形圆形或椭圆形,无果面沟,具网纹,果肉汁少,质地软、绵。

第V类群包含2020 T 29、SL 3、SL 85、SL 173、SL 23、SL 211、SL 103等7份种质,占比4.96%,果肉平均厚度4.25 cm,平均单果质量1.28 kg,中心可溶性固形物含量14.30%,千粒重15.61 g,产籽量极低;果实均为圆形,果肉白色,种子椭圆形,种皮颜色黄色。

第VI类群包含SL 184、SL 181、SL 209、2020 T 32、SL 187、SL 208等6份种质,占比4.26%,果肉平均厚度3.68 cm,平均单果质量1.45 kg,中心可溶性固形物含量13.35%,千粒重33.12 g;果实圆形或

卵圆形,无果面瘤和果面沟,果皮表面覆纹,以棕绿色斑纹为主。

第VII类群包含73份种质,占比51.77%,果肉平均厚度4.00 cm,平均单果质量1.90 kg,中心可溶性固形物含量13.90%,千粒重34.60 g;无果面瘤,果实圆形,果皮光滑,果肉浅绿色。

3 讨论与结论

调查与分析作物种质资源的形态和性状是种质研究的基础性工作。种质资源评价分析的方法已在农业生产中得到广泛应用,并通过分析不同作物品种间的遗传多样性和差异性,达到选育优良种质的目的。甜瓜种质资源遗传多样性分析以形态学标记、分子标记为主,但目前对种质资源的描述和鉴定评价主要依据农艺表型性状^[16]。农艺性状变异分析和表型多样性分析是种质资源研究和利用的基础,有助于育种工作者全面了解各类型种质材

料的遗传变异水平,更有利于杂交亲本选配与新品种选育^[17-18]。

变异系数可以直接反映遗传多样性水平,它表明了某一性状的离散程度,变异系数越大,该性状的变异程度越大^[19]。笔者的试验中141份厚皮甜瓜种质资源15个质量性状的遗传多样性指数在0.27~2.04,平均为0.90,14个数量性状的遗传多样性指数在1.76~2.07,平均为2.01,尤其是果实横径的指数最高,为2.07,单株产量的变异系数最高达47.41%,说明在同一栽培条件和材料数量较多的情况下,表现出种质资源间的遗传多样性,这与兰秀等^[20]的研究结果一致,为种质资源的拓展应用及种质创新提供了保证。笔者对厚皮甜瓜的15个质量性状和14个数量性状进行了分析,发现果实形状、果皮底色、果面网纹分布、果肉颜色和种子形状5个质量性状变异明显,各级均有一定数量的种质分布,剩余10个性状($H' < 1.0$)变异不明显。数量性状的变异更为明显,遗传多样性指数最小为1.76,果实横径、果实纵径、种腔横径、果肉厚度、平均单果质量、中心可溶性固形物含量、千粒重、种子长度、种子宽度、种形指数等10个性状的遗传多样性指数高于2.00。质量性状遗传多样性指数低于数量性状,由此可以说明数量性状比质量性状更容易受到基因型或种质的影响,这与张凡等^[21]的研究结果一致。笔者的研究中,29个果实性状较好地反映了厚皮甜瓜种质的表型特性,在育种上选择面广,遗传改良的空间较大。

相关性分析是研究变量之间是否存在一定相关性,从而衡量变量间相关程度或密切程度的一种方法^[22]。相关性分析结果表明,重要的12个数量性状间存在复杂的相互关系,尤其是单果质量和中心可溶性固形物含量,其中单果质量与果实横径、果实纵径、果形指数、果肉厚度呈极显著正相关,表明甜瓜产量与自身性状密切相关。此外,笔者在试验中还发现中心可溶性固形物含量与果实横径和种腔横径具有显著的相关性。相关性分析进一步表明厚皮甜瓜各性状之间关联较紧密,种质性状的遗传比较复杂。

主成分分析是用少数的几个综合指标来代替多个主要农艺指标,对种质资源进行评价分析,以期反映样品的基本信息,可以极大地简化程序,达到降维的目的^[23-24]。笔者的试验中,前4个主成分的累计贡献率达到了78.39%,包含了果实性状指标的大部分信息,可作为厚皮甜瓜种质资源果实性状

评价的综合指标,其中决定第1主成分的主要性状为单果质量、果实横径,这与芮文婧等^[25]对353份番茄种质资源表型性状主成分分析的结果一致。4个主成分因子对厚皮甜瓜种质特征的贡献率由高到低依次为质量因子>种腔因子>果形因子>产量因子,各主成分中的载荷值表明该性状具有不同育种目标的潜力。

聚类分析法可以揭示种质资源间的亲缘关系,为杂种优势利用提供理论依据,在种质资源研究中得到广泛应用^[26-27]。笔者的试验中,在欧式距离为14.5处将参试的141份厚皮甜瓜种质资源划分为7个类群,类群VII包含的种质数量最多(73份),占比为51.77%;类群III仅包含1份种质(SL27),种子千粒重最小。

综上所述,141份厚皮甜瓜种质资源的遗传多样性丰富,其中SL42、SL29、2020T20、SL90、SL75的农艺性状综合表现最好,可对这5份种质加以改良,育成新品种。结合质量性状多样性指数分析法、数量性状变异分析法、相关性分析法、主成分分析法和聚类分析法研究种质资源,能更快筛选出符合育种目标亲本类型的厚皮甜瓜种质资源,为新品种选育奠定重要基础。

参考文献

- [1] 李晓慧,赵卫星,常高正,等.厚皮甜瓜主要农艺性状的变异性及其与产量和品质构成关系分析[J].河南农业科学,2016,45(12):116-119.
- [2] 杨念,王蔚宇,曹春意,等.我国甜瓜产业发展现状及趋势分析[J].中国瓜菜,2019,32(8):50-54.
- [3] YILDIZ M, EKBIK E, KELES D, et al. Use of ISSR, SRAP, and RAPD markers to assess genetic diversity in Turkish melons[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130(1):349-353.
- [4] 卿东山,江鸿,张露瑶,等.甜瓜种质资源形态学性状遗传多样性分析[J].中国蔬菜,2023(4):39-49.
- [5] 徐志红,徐永阳,刘君璞,等.甜瓜种质资源遗传多样性及亲缘关系研究[J].果树学报,2008,25(4):552-558.
- [6] 张爽爽,陈莹,滕巍,等.甜瓜抗白粉病及蔓枯病种质资源的分子标记筛选[J].中国瓜菜,2020,33(11):8-12.
- [7] 胡建斌,马双武,李建吾,等.国外甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析[J].植物学报,2013,48(1):42-51.
- [8] 张凯歌,胡倩梅,靳志恒,等.219份甜瓜种质资源的遗传多样性分析[J].河南农业大学学报,2020,54(2):216-230.
- [9] 朱凌丽,徐建,姚协丰,等.厚皮甜瓜种质蔓枯病抗性评价与遗传多样性分析[J].江苏农业学报,2021,37(2):454-464.
- [10] 盛云燕,韩雨,王霞.不同甜瓜品种果实品质差异分析[J].安徽农业科学,2013,41(19):8097-8099.
- [11] 梁昕景,夏玲,王学林,等.基于隶属函数法对34份黄皮厚皮甜瓜种质资源的综合评价[J].热带农业科学,2022,42(3):39-44.

- [12] 韩立红,陈加和,于静湜,等.适宜与草莓套种的日光温室厚皮甜瓜品种筛选[J].蔬菜,2022(4):62-65.
- [13] 徐佳,周洪,朱鹏飞.台州地区厚皮甜瓜品种筛选试验[J].上海蔬菜,2022(2):14-17.
- [14] 马双武,刘君璞.甜瓜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [15] 中华人民共和国农业部.农作物优异种质资源评价规范 甜瓜:NY/T 2388—2013[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [16] 贾瑞玲,赵小琴,南铭,等.64份苦荞种质资源农艺性状遗传多样性分析与综合评价[J].作物杂志,2021,(3):19-27.
- [17] 吕伟,韩俊梅,文飞,等.不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析[J].植物遗传资源学报,2020,21(1):234-242.
- [18] 郭禄芹,赵世豪,朱华玉,等.167份西瓜种质材料的遗传多样性分析[J].中国瓜菜,2018,31(1):5-11.
- [19] 王铭,刘江,王长彪,等.109份西瓜育种材料果实性状的遗传多样性分析[J].中国瓜菜,2020,33(10):23-28.
- [20] 兰秀,杨海霞,李恒锐,等.16份桃椰种质主要农艺性状的遗传多样性分析[J].西南农业学报,2022,35(5):1000-1009.
- [21] 张凡,刘国涛,杨春玲.620份小麦种质资源农艺性状调查及其遗传多样性分析[J].山东农业科学,2022,54(3):15-21.
- [22] 侯东颖,苏东涛,郝科星,等.基于主成分和聚类分析的无籽西瓜果实性状的综合评价[J].中国瓜菜,2022,35(5):37-41.
- [23] 梁根云,青游,蔡鹏,等.四川省黄瓜地方品种种质资源农艺性状多样性分析[J].西南农业学报,2021,34(4):697-705.
- [24] 常晓轲,董晓宇,韩娅楠,等.基于主成分分析的不同朝天椒品种品质综合评价[J].中国瓜菜,2023,36(3):42-47.
- [25] 芮文婧,王晓敏,张倩男,等.番茄353份种质资源表型性状遗传多样性分析[J].园艺学报,2018,45(3):561-570.
- [26] 张兆辉,姜玉萍,陈春宏.瓠瓜种质资源主要果实性状的主成分与聚类分析[J].中国蔬菜,2018(8):38-43.
- [27] 何巧芸,周智满,曾铮,等.195份大蒜种质资源在南方地区的农艺性状综合评价[J].中国蔬菜,2022(7):69-77.